



TITLE:

伝統的構法による木造建築物の地震応答解析

AUTHOR(S):

中川, 貴文

CITATION:

中川, 貴文. 伝統的構法による木造建築物の地震応答解析. 2014: 共同研究 (一般研究集会) 26K-08.

ISSUE DATE:

2014-11

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/196318>

RIGHT:

伝統的構法による木造建築物の 地震応答解析

国土技術政策総合研究所
中川貴文

1

本日の内容

- ① 伝統的構法による2階建木造住宅の振動台実験の解析
- ② 東日本大震災で被災した社寺建築の被災の再現
- ③ その他(解析ソフトウェアの紹介)

2

研究の背景

- 伝統構法の構造特性
 - 垂れ壁付き構面
 - 柱脚の挙動
- 伝統的木造住宅の震動台実験
 - 国交省補助事業「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」(委員長:鈴木祥之教授)
 - 2011年1月にE-ディフェンスで実施
 - 詳細は「緑の列島ネットワーク」HP参照

3

試験体の概要(試験体No.4)

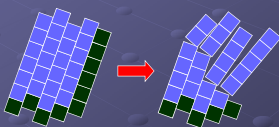


- 瓦葺き2階建て、足固め・石場建て
- 土塗り壁 長手16P 短手14P
- 壁量充足率 1F 長手 0.7 短手 0.6

4

解析理論(個別要素法)の概要

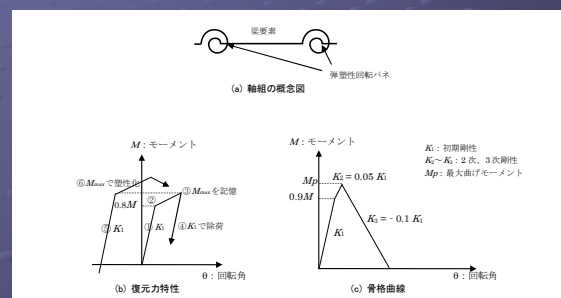
- 土木分野で主に利用される
- 非連続体解析法→大変形、破壊解析が容易
- 骨組の構造解析のために梁要素、モーメント抵抗バネ等を追加
- 木造住宅の倒壊までを追跡できる数値解析手法



5

軸組のモデル化

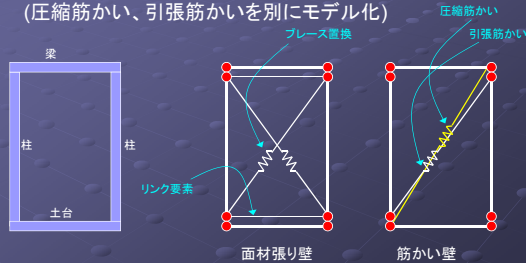
- 塑性回転バネ(塑性ヒンジ)+弾性梁要素
- 通し柱・垂れ壁付き柱の折損、曲げ抵抗
- 曲げ強さ、最大曲げモーメントを設定 (部材の調査)



6

鉛直構面のモデル化

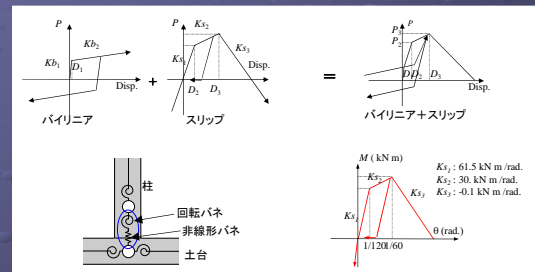
- 面材壁はトラス要素によりモデル化 (ブレース置換)
- 筋かい壁は2種類の線材バネによりモデル化 (圧縮筋かい、引張筋かいを別にモデル化)



7

鉛直構面・接合部の復元力特性

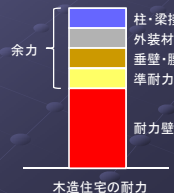
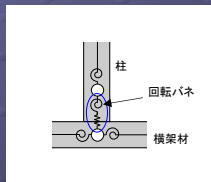
- 鉛直 (水平) 構面 → バイリニア+スリップ
- 水平構面 → 引張側スリップ
- 骨格曲線は別途実施した要素実験により決定



8

木造住宅の立体骨組によるモデル化

- 耐震要素
 - 壁 (耐力壁)、準耐力壁、小壁、外装材 (非構造部材)
- 柱・横架材接合部のモーメント抵抗



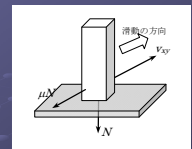
9

柱脚の滑り挙動のモデル化

- 試験体が滑り出す条件:

$$\mu_1 \times N < (P_x^2 + P_y^2)^{1/2}$$
- 滑りが停止する条件:
 - 柱脚の速度ベクトルと、地盤の速度ベクトルの内積が負になった場合に停止
- 滑り中に柱脚要素にかかる摩擦力:

$$\mu_2 \times N$$
 (方向は柱脚に作用する水平力と逆方向)



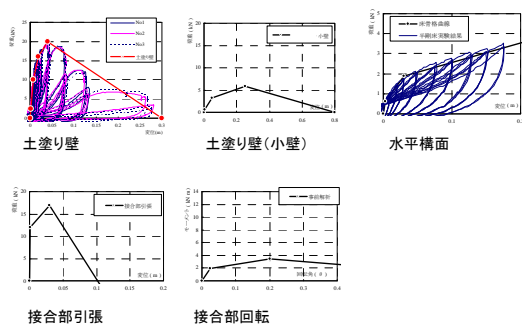
10

JMA神戸

実験結果

| | | L 方向 | | S 方向 | |
|----------|--------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | | 4A2 | 4A4 | 4A3 | 4A5 |
| | | 稀な 地震動 | 極めて稀 な地震動 | 稀な 地震動 | 極めて稀 な地震動 |
| 柱脚滑り | (mm) | 1 | 46 | 1 | 96 |
| 1 階 | (mm) | 17 | 110 | 16 | 171 |
| | (rad.) | 1/169 | 1/26 | 1/180 | 1/17 |
| 2 階 | (mm) | 14 | 75 | 13 | 70 |
| (H=2550) | (rad.) | 1/182 | 1/34 | 1/196 | 1/36 |

解析モデルのパラメータ



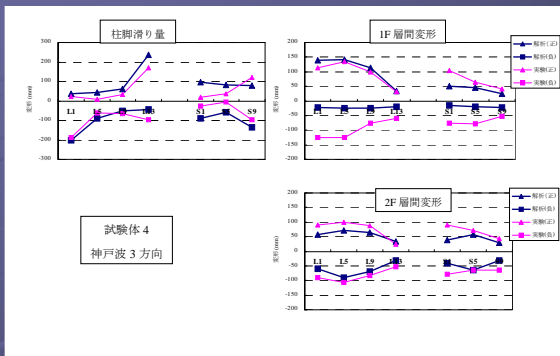
13

解析条件

- 土塗り壁の耐力 要素実験の「60%、80%、100%、120%、150%」の5種類
- 動摩擦係数「0.5、0.4、0.3」の3種類
- 各地震波の強制外乱入力終了後の解析モデルの塑性状態を保存し、続けて次の地震波を入力

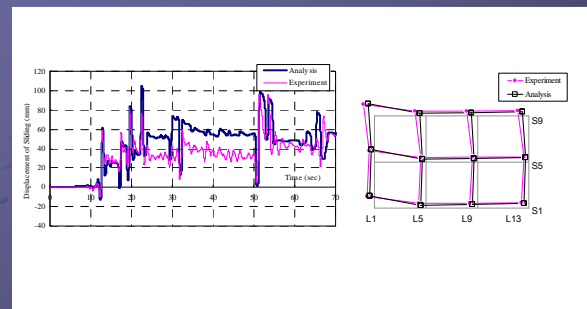
14

結果比較(耐力80% $\mu=0.4$)



15

結果比較(耐力80% $\mu=0.4$)



16

事前解析結果(耐力80% $\mu=0.4$)



17

事前解析結果(耐力80% $\mu=0.4$)



3次元画像計測に協力 (東京電機大)新津靖教授

18

まとめ

- 土塗り壁の耐力が「80%」、動摩擦係数が「0.4」の解析モデルでは、2Fの層せん断力は実験に比べ小さかったが、滑り挙動と1F、2Fの層間変形は、どの加振においても、ほぼ適合する結果であった。
- 土塗り壁の耐力、動摩擦係数は解析結果に大きく影響を及ぼす。

19

本日の内容

- ① 伝統的構法による2階建木造住宅の振動台実験の解析
- ② 東日本大震災で被災した社寺建築の被災の再現
- ③ その他(解析ソフトウェアの紹介)

20

研究の背景

- 2011年3月11日東北地方太平洋沖地震において、栃木県塩谷郡高根沢町の妙顕寺本堂が倒壊
- 妙顕寺本堂・・・鶯(いかるが)工舎 棟梁 小川三夫氏による社寺建築
- 東京大学大学院 稲山正弘研究室が構造調査を実施
→被害要因の分析を目的として、建築研究所開発の倒壊解析ソフトでシミュレーションを実施

21

妙顕寺本堂の概要



- 平成8年 竣工
- 純木造 三間×四間 向拝付
- RC布基礎、基壇と亀腹を設置

22

被害調査、構造調査

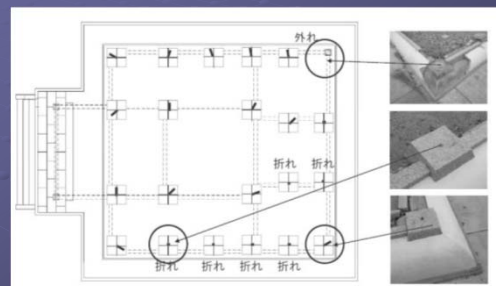
- 2011年4月30日～10月3日 計3回
- 全部材の配置を含めた図面おこし
- 現地での損傷状況の確認、ヒアリング
- 部材の実測調査
→継ぎ手、仕口の実測
→解析モデル作成のため



23

被害状況1

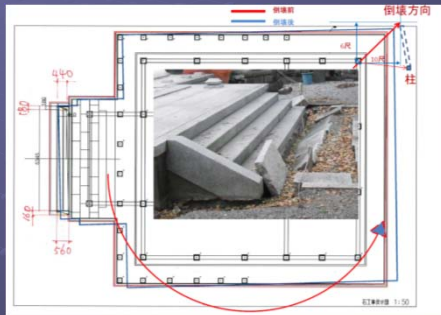
- 柱脚のダボの折損



24

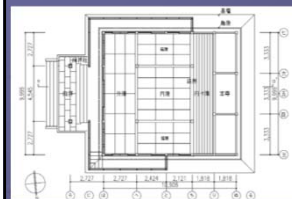
被害状況2

● 基壇の移動

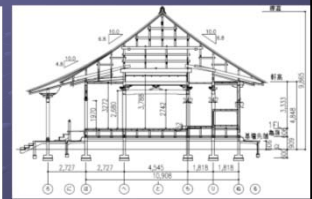


25

構造概要



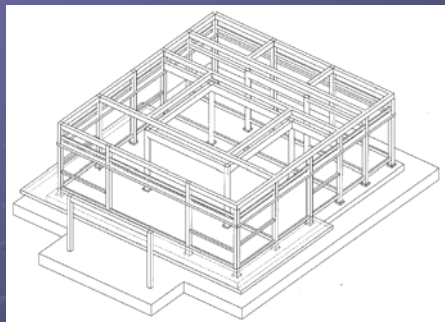
平面図



断面図

26

構造概要

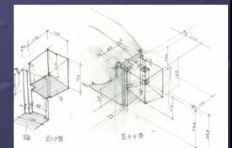
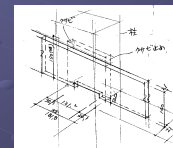
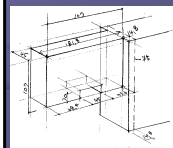


架構の確認

27

構造要素

- 軸組の嵌合接合におけるめり込みによるモーメント抵抗
- 鉛直構面によるせん断抵抗
→ラスボード、モルタル

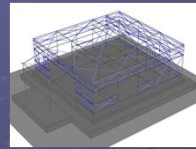


28

解析モデルの概要



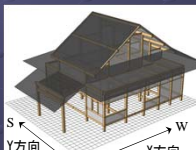
フレーム



鉛直構面、水平構面



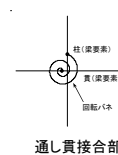
解析モデル外観



小屋組

29

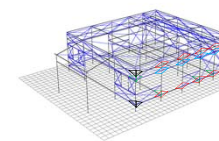
嵌合接合のモデル化



通し貫接合部



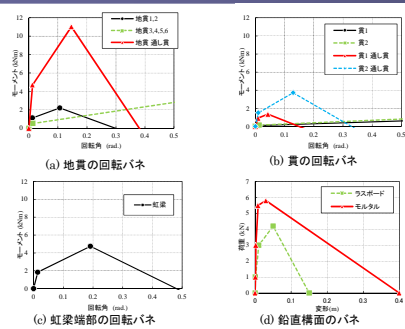
片側貫接合部



- ▷ 地貫1,2, 貫1
- ▷ 地貫3-6, 貫2
- ◇ 地貫 貫1通し貫
- ◇ 貫2通し貫

30

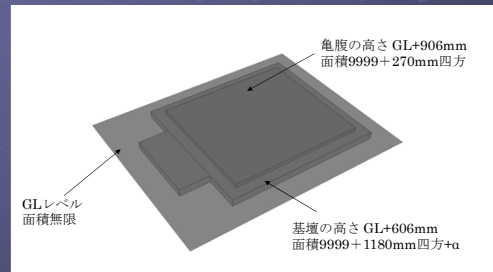
接合部の回転バネ、鉛直構面の骨格曲線



- 1) 日本建築学会「木質構造接合部設計マニュアル」(4.6節) (2009)
- 2) 日本住宅・木材技術センター「木造軸組工法住宅の限界耐力による設計の手引き」(2005)
- 3) 日本建築防災協会「木造住宅の耐震診断と補強方法」(2006)

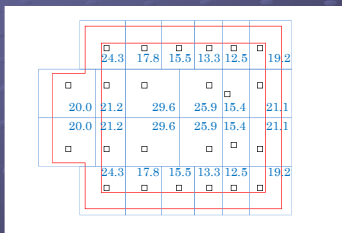
柱脚の条件

- 滑り挙動 (滑り支床、静止摩擦・動摩擦)
- 滑落挙動

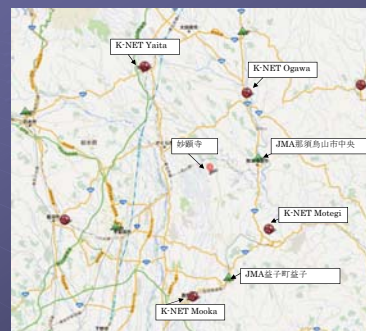


重量

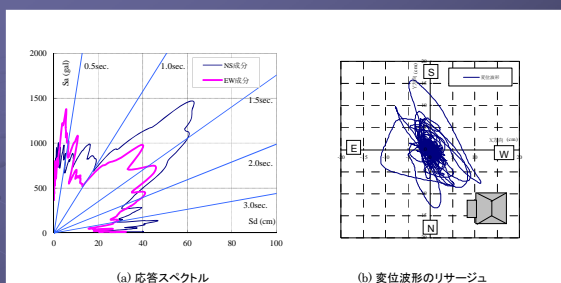
- 全ての構成部材を拾い、体積から算出



入力地震波



入力地震波



解析結果

| 入力波 | 方向 | 柱脚滑り (mm) | | 層間変形 (mm) | |
|---------|----------|-----------|-----|-----------|-----|
| | | X方向 | Y方向 | X方向 | Y方向 |
| K-NET小川 | 正方向 | 32 | 55 | 72 | 193 |
| | 100% 負方向 | -41 | -23 | -65 | -74 |
| K-NET小川 | 正方向 | 28 | 58 | 79 | 211 |
| | 105% 負方向 | -44 | -30 | -66 | -87 |
| K-NET小川 | 正方向 | 27 | 60 | 87 | 269 |
| | 110% 負方向 | -44 | -36 | -71 | -97 |
| K-NET小川 | 正方向 | 倒壊 | | | |
| | 115% 負方向 | | | | |
| 基準法相当 | 正方向 | 61 | 40 | 146 | 136 |
| | 負方向 | -17 | -20 | -45 | -73 |
| JMA神戸 | 正方向 | 51 | 47 | 116 | 205 |
| | 負方向 | -18 | -29 | -72 | -88 |
| JR鹿取 | 正方向 | 倒壊 | | | |
| | 負方向 | | | | |
| JMA川口 | 正方向 | 倒壊 | | | |
| | 負方向 | | | | |

解析結果

K-NET小川115%

JR鷹取100%

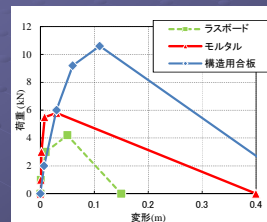
JMA神戸100%



37

耐震補強の検討

- ラスボード→構造用合板(耐力壁仕様)



K-NET小川200%



38

解析結果まとめ

- K-NET小川115%入力の際倒壊過程では倒壊前に柱脚の滑落は生じず、水平耐力要素の耐力喪失による層崩壊が倒壊の原因であった。
- 上方から見て時計回りの建物のねじれと南西方向への建物の傾斜・倒壊が見られ、ヒアリング調査と一致する倒壊過程であった。
- JMA神戸の入力でも倒壊には至らず、建物の耐震性はある程度あった。地盤条件による地震動の増幅、地盤変状が主な倒壊原因の一つであったことが推測される。

39

本日の内容

- ① 伝統的構法による2階建木造住宅の振動台実験の解析
- ② 東日本大震災で被災した社寺建築の被災の再現
- ③ その他(解析ソフトウェアの紹介)

40

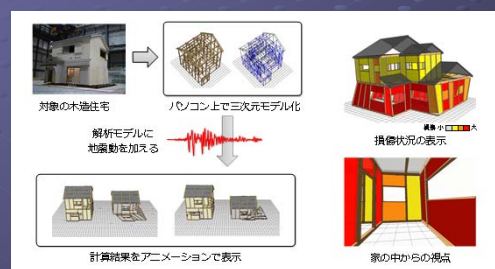
wallstat とは？

- 木造住宅の建物全体の地震時の損傷状況や倒壊過程をシミュレートする数値解析プログラム
- 建築研究所の研究課題で開発した倒壊解析手法
→Windowsプログラムとして使いやすく改良
- 建築研究所のホームページで公開中(無償)
<http://bit.ly/wallstat> Googleで "wallstat"

41

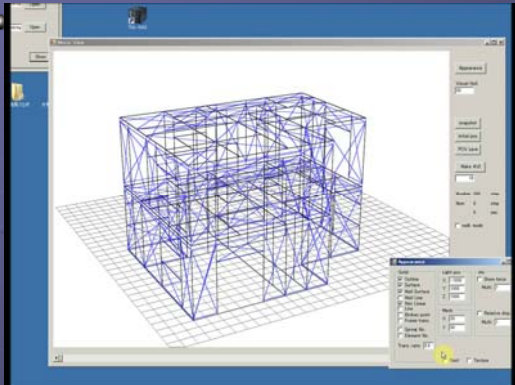
wallstat の概要

- ・ パソコン上で建物の立体骨組によりモデル化、振動台実験のように地震動を与える
- ・ 変形の大きさ、損傷状況、倒壊過程を視覚的に確認



42

ソフトウェアの画面



43

wallstat のダウンロード数、今後の展開

● 2010年12月に公開開始

ホームページアクセス数 **11,097**回
ソフトウェアのダウンロード数 **3,475**回
解析結果動画の再生回数 **9,181**回 (youtube)
(2013年 8月30日まで)

● 今後の展開

解析モデルの作成(入力)時間の短縮
プレカットCADとの連携

44